3Б

УДК 528.854/87(15)

Л.А. Белозерский, Л.В. Орешкина, Н.И. Мурашко
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск
220012, Республика Беларусь, ул. Сурганова, 6, г. Минск

Принципы автоматизации дискретного представления области спутникового мониторинга земной поверхности

L.A. Belozersky, L.V. Areshkina, N.I. Murashko
United Institute of Informatics Problems of the NAS of Belarus, c.Minsk
Surganova st., 6, 22012, c. Minsk, Belarus

Automation Principles Discrete Presentation of the Satellite Monitoring Field of the Earth Surface

Л.А. Білозерський, Л.В. Орешкіна, М.І. Мурашко
Об'єднаний інститут проблем інформатики НАН Білорусі, м. Мінськ
22012, Білорусь, вул. Сурганова, 6, м. Мінськ

Принципи автоматизації дискретного представлення області супутникового моніторингу земної поверхні

В статье развивается идея дискретизации области спутникового мониторинга земной поверхности в направлении ее практической реализации.
Ключевые слова: дискретизация, зона ответственности, изображение текущей съемки, область мониторинга, участок мониторинга, обнаружение изменений, текущее изображение, фрагмент дискретизации

The paper develops the idea of discretization of satellite monitoring area of the Earth's surface towards of its practical realization.
Key words: discretization, area of responsibility, an image of current survey, monitoring area, monitoring plot, change detection, current image, discretization fragment

У статті розвивається ідея дискретизації області супутникового моніторингу земної поверхні в напрямку її практичної реалізації.
Ключові слова: дискретизація, зона відповідальності, зображення поточної зйомки, область моніторингу, ділянка моніторингу, виявлення змін, поточне зображення, фрагмент дискретизації.

Цель и задачи статьи

Обоснованная в статье [1] необходимость дискретизации области мониторинга (ОМ) земной поверхности не затрагивала вопросов реализации соответствующих процессов. Наряду с этим осуществление рассмотренных предложений в конкретных разработках [2], [3] ориентировалось полностью на использование интерактивных действий оператора. Приобретаемый опыт создания, испытаний и эксплуатации систем мониторинга демонстрировал большое число степеней свободы операторских действий по назначению каждого фрагмента и часто непреодолимых трудностей ручной стыковки их групп в составе ОМ, нуждающейся в непрерывном описании. Здесь же приходилось обращать внимание на то, что на том же операторе лежит ответственность выбора расположения и границ ОМ. Для решения рассматриваемой задачи требовался высокий

уровень подготовки, внимательность и тщательность микроскопических усилий в манипуляторных перемещениях устанавливаемых фрагментов. И это еще не гарантировало достаточную точность дискретного описания области мониторинга в силу естественных физических и психических ограничений.

Кроме того, ситуационный характер применения систем спутникового мониторинга (невозможность съемок из-за погодных условий, низкая частота съемок заданных участков), а следовательно, отвлечение оператора на время вынужденного простоя на другие работы не способствует систематическому закреплению приемов работы и приобретению необходимых навыков. Отсюда очевидна необходимость автоматизации ручного труда.

Настоящая статья и посвящена алгоритмическим решениям в устранении ряда интерактивных операций с передачей ведущей роли программе в ее взаимодействии с оператором.

Зона, участок и область мониторинга

Организация мониторинга, основанного на данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предполагает определение положения и площадей территорий, контроль состояния которых преследует природоохранный, технический, сельскохозяйственный и др. интересы.

При этом вся территория, отводимая одной информационной системе мониторинга, решающей задачи обнаружения изменений состояний ее объектов, может считаться зоной ее ответственности (ЗОС). В то же время космическая съемка такого рода зоны не во всех случаях обеспечивает охват ее за один пролет спутника. Поэтому в большинстве случаев целесообразным оказывается разбиение ЗОС на участки. В результате отдельным участком мониторинга (УМ) следует считать такую часть земной поверхности, площадь которой гарантирует ее надежную съемку в заданном пролете.

Таким образом, определенное число участков мониторинга должно составлять упомянутую зону. К тому же для упомянутой гарантии съемок очередных ее УМ все они должны быть равного размера, а для простоты последующих вычислений иметь форму квадрата, стороны которого ориентированы относительно сторон света. При этом обеспечивается возможность формирования ЗОС из УМ, располагаемых в ее пределах любым удобным способом для решения задачи контроля состояний наземных объектов. Кроме того, такое построение позволяет определять предельные возможности системы мониторинга как по числу УМ, обеспечиваемых располагаемыми вычислительными возможностями, так и по времени съемки всей ЗОС, учитывая открывающиеся при знании параметров спутника ДЗЗ возможности полного охвата УМ за один пролет.

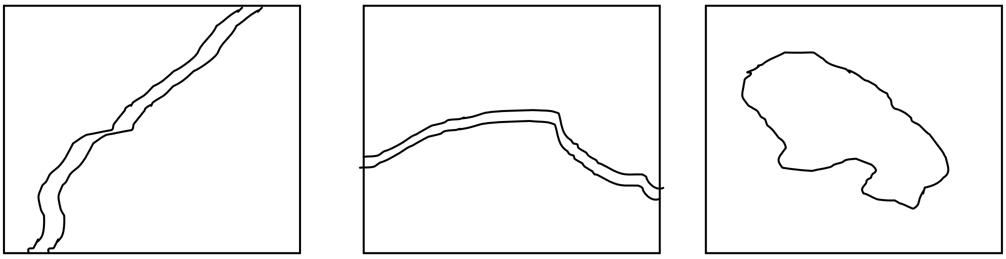
Несмотря на рассмотренную иерархию ЗОС-УМ, изображение современной космической съемки одного участка в силу его достаточно больших размеров даже при высокой пространственной разрешающей способности съемки не гарантирует того, что вся площадь отснятого УМ содержит только интересующие мониторинг объекты. Только часть ее в большинстве случаев должна быть использована, а объем вычислений для экономии ресурса системы уменьшен. Эта значимая часть УМ и может быть названа областью мониторинга (ОМ), которая должна только в отдельных ситуациях будет представлять всю площадь рассматриваемых УМ, а наиболее реально – части их, различающиеся по площади, расположению и по сложности границ. При этом в последних случаях можно выделить три разновидности ОМ:

– область в виде криволинейной (в общем случае) узкой полосы, вытянутой от северного к южному краю УМ;

– область в виде криволинейной (в общем случае) узкой полосы, вытянутой от западного к восточному краю УМ;

– область любой формы в виде отдельного локального образования в любом месте УМ.

Указанные разновидности схематически ОМ (без изображений, в пределах которых они существуют) демонстрируются на рис. 1.



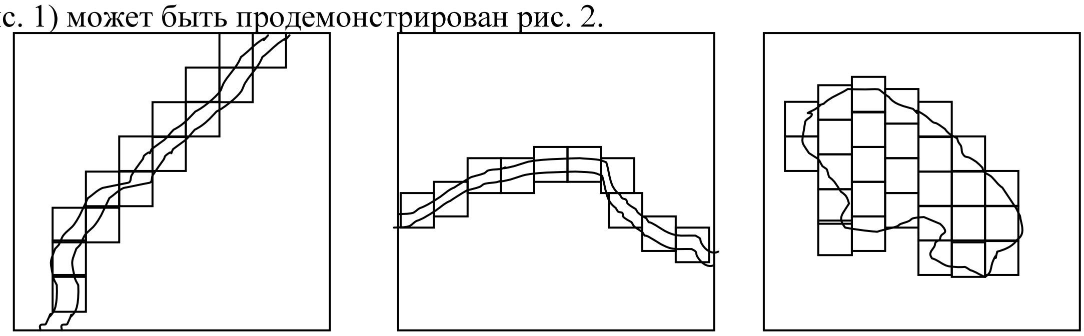
а б в

Рисунок 1 – Примеры разновидностей ОМ в составе УМ

Выделение такого типа областей мониторинга на одном изображении спутниковой съемки имеет целью такое же по расположению и координатам выделение их на изображениях очередных съемок, геометрически совпадающих с ними, для обнаружения возможных изменений во времени при их взаимном сопоставлении.

Принципиально ручное выделение ОМ оператором может быть выполнено. Однако при этом достаточно очевидна невозможность точного воспроизведения ОМ на всех предшествующих снимках многоспектрального состава и таких же последующих снимках. Объясняется она сопутствующим возникновением изменений в сопоставлении разновременных наблюдений одной и той же ОМ при любой ошибке указанного ручного ее воспроизведения. В основе таких ошибок – имеющая место в общем случае сложность границ ОМ. Точно также сложной оказывается и задача координатного представления и хранения границ для их нанесения на очередных снимках, имея в виду ручной характер оцифровки областей мониторинга всех УМ зоны ответственности системы. Кроме того, не вся область мониторинга, рассмотренная на рис. 1, может быть подвержена изменениям. Поэтому постоянная обработка любой ОМ в целом не рациональна. Наконец, области мониторинга всех УМ зоны ответственности в силу естественных причин имеют отличающиеся размеры, большое разнообразие длин строк и столбцов, что серьезно осложняет обработку информации в составе системы.

Принцип дискретного представления ОМ для каждой из их разновидностей (рис. 1) может быть продемонстрирован рис. 2.



а б в

Рисунок 2 – Примеры дискретизации разновидностей ОМ в составе УМ

Наиболее целесообразным способом преодоления рассмотренных трудностей оказывается дискретизация области мониторинга. Для этого необходимо выбрать дискрет аппроксимации ОМ, являющийся изображением детального контроля состояний, ограниченным квадратной рамкой. Целое число таких изображений, являющихся фрагментами изображения УМ, должно укладываться в его составе. При этом каких-либо жестких требований к размерам дискрета (длине стороны этого квадрата) не предъявляется. Однако, представляя элементарное изображение, он должен содержать достаточное число пикселей яркостей, представляющих статистическую выборку для оценок, выполняемых в процессе мониторинговой обработки.

В силу дискретизации, которую можно рассматривать как аппроксимацию ОМ, одновременно с выделением непосредственно изображения ОМ происходит захват отдельными фрагментами частей окрестностей, прилегающих к ней вплотную, как это показано на рис. 2. Можно понять, что их наличие не мешает, а в отдельных случаях (окрестности контролируемого трубопровода и т.п.) даже имеет смысл для детальных оценок состояний хорошо выделяемой области мониторинга. Из рассмотрения рисунка также следует, что выбор дискрета меньших размеров по сравнению с примененным в большей степени ограничит площадь указанных окрестностей. Но, так или иначе, при этом вне поля дискретизации остаются большие по площадям части УМ, не представляющие никакого интереса в мониторинге.

Наряду с отмеченными особенностями следует принимать во внимание, что все изображение УМ должно быть топографически привязано к отображаемой земной поверхности. Это обеспечивает привязку каждого фрагмента дискретизации ОМ в составе УМ. Кроме того, сохранение получаемых координат на все время существования системы мониторинга или ее применения в заданной зоне ответственности позволяет выделять те же фрагменты как на всех изображениях одной многоспектральной космической съемки, так и на всех изображениях последующих съемок, используемых для периодического контроля состояний наземных объектов выделенной ОМ.

Дискретизация области мониторинга

Из предшествующего изложения можно было бы считать, что с рассмотренной задачей выбора положений фрагментов дискретизации ОМ вполне должен справиться подготовленный оператор. Однако без соответствующего инструментария даже при полном расчете на его способности это достаточно трудно. Реализация такой возможности должна основываться на программной поддержке ручных действий, предполагающей использование манипулятора «Мышь». При этом должна быть предусмотрена генерация и визуализация рамки каждого дискрета ОМ, установка ее в заданном оператором месте и перемещение для уточнения выбранного положения с помощью операции drag and drop.

Даже в рассмотренном случае придется:

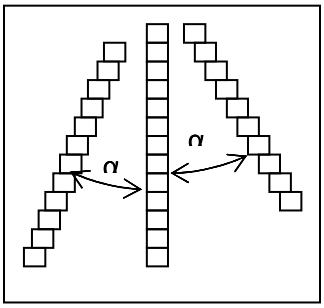
– обеспечивать выбор места установки рамки начального фрагмента дискретизации и ее точное размещение на границе или в составе ОМ;

– последовательно определять положение каждого фрагмента дискретизации, достигая плотности их соприкосновения для достижения непрерывности изображения фрагментов ОМ по строкам и столбцам с абсолютной точностью.

При небольшом числе фрагментов с таким объемом ручных операций можно было бы согласиться. Однако реально число фрагментов может превышать несколько сотен. Это заставляет искать пути автоматизации ряда операций, чтобы освободить

оператора от их выполнения. В частности, для ОМ, вытянутых от северной до южной или от западной до восточной границ УМ (рис. 1а, б) может быть предложена предварительная установка в пределах УМ линейного приближения дискретизации ОМ. Учитывая криволинейный характер рассматриваемых ОМ (в общем случае), возможных линейных приближений для каждой из двух анализируемых ситуаций может быть по три (рис. 3).

Каждое линейное приближение должно представлять собой серию вплотную расположенных рамок, накладываемых на изображение для выделения фрагментов дискретизации. Автоматическое формирование целесообразнее всего осуществлять, начиная с северного конца в направлении к южному для ситуации рис. 3а и с западного конца в направлении к восточному для ситуации рис. 3б. При этом положение первого генерируемого элемента, а также направления и угла отклонения от вертикали ($\alpha = 0 \div \alpha_{\max}$) для генерации последовательности легко может быть назначено оператором.



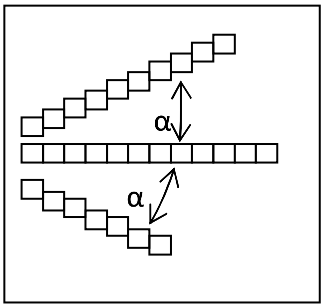


Рисунок 3 – Три расстановки линейного приближения фрагментов дискретизации для двух (а, б) направлений формирования

Алгоритмически процессу формирования последовательности рамок для выделения фрагментов дискретизации ОМ в первой расстановке при отклонении влево (рис. 3а) соответствует следующее рекуррентное выражение координат северо-западного угла каждого ее элемента:

$$x_{00}^{(n)} = x_{00}^{(n-1)} + Q \cdot (1 - tg\alpha);$$
$$y_{00}^{(n)} = y_{00}^{(n-1)} - Q, \tag{1}$$

где $x_{00}^{(n)}, y_{00}^{(n)}$ – координаты северо-западного угла n-го фрагмента дискретизации ОМ;

Q – длина стороны квадрата фрагмента дискретизации.

Аналогично для генерации отклонений вправо от вертикальной аппроксимации (рис. 3а) получим:

$$x_{00}^{(n)} = x_{00}^{(n-1)} + Q \cdot tg\alpha;$$
$$y_{00}^{(n)} = y_{00}^{(n-1)} - Q. \tag{2}$$

Точно также могут быть получены рекуррентные выражения для линейной генерации фрагментов дискретизируемой ОМ горизонтального направления (рис. 3б). Так, для отклоненной аппроксимации вниз получаем выражение, совпадающее с (1).

В то же время для отклонения вверх может быть применено выражение (2), но убывающая координата $y_{00}^{(n)}$ должна заменяться на возрастающую:

$$y_{00}^{(n)} = y_{00}^{(n-1)} + Q.$$

Выбор величины угла отклонения линейной генерации рамок во всех рассмотренных случаях легко обеспечить подбором соответствующего положения, достигая максимально возможного приближения к реальной ОМ.

Несмотря на все рассмотренные решения, программные генерации не обеспечивают фрагментацию ОМ на всем их протяжении. Поэтому для достижения желаемого результата возникает необходимость полученных рамок выделения фрагментов вдоль строк до совпадения непосредственно с ОМ для достижения результата дискретизации в вертикальном направлении и вдоль столбцов – в горизонтальном.

Решить такую задачу можно, вооружив оператора инструментом, аналогичным операции drag-and-drop, но отличающимся от него запретом перемещений рамок выделении фрагментов в вертикально направлении для ситуации рис. 1а и в горизонтальном – для ситуации 1б. На рис. 4 демонстрируется применение таких перемещений рамок выделения фрагментов для ситуации рис.а 1а линейным набором рис. 3а при $\alpha = 0$.

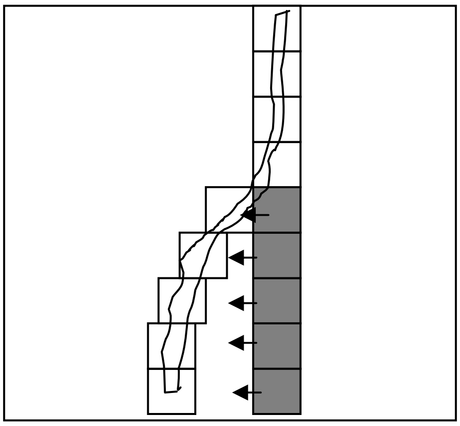


Рисунок 4 – Принцип смещения фрагментов при дискретизации ОМ

Согласно рассмотренному упрощенному примеру первые 4 рамки генерации их линейной последовательности в направлении с севера УМ на юг оказались хорошо охватывающими вытянутую область мониторинга. В то же время 4 последние рамки не соответствовали выделению ОМ. Поэтому перемещение их оператором вдоль строк изображения в места рационального размещения позволяет устранить этот недостаток. Аналогично рассмотренный процесс должен выглядеть для ОМ, вытянутой в направлении запад-восток УМ. Отличия должны состоять лишь в том, что перемещения рамок выделения приходилось бы осуществлять вдоль столбцов изображения УМ.

Характерной особенностью применяемого здесь инструментария должно быть соответствующее перемещению рамок изменение координат их северо-западных углов относительно исходного положения, заданного генерацией последовательности. При этом важным в указанных перемещениях является их однонаправленность, достигаемая благодаря исключению одной из двух степеней свободы, привычных для применения операции drag-and-drop.

Наряду с демонстрацией возможности перемещений рамок в места дискретизации ОМ упрощенность рассмотренного примера не позволяла увидеть неполноту соответствующих действий в силу узости ОМ, охватываемой по всей ее протяженности одиночными рамками. Реальные ОМ при всей их вытянутости в отдельных местах или полностью могут оказаться как шире единичного фрагмента дискретизации, так и не дискретизированными без пропусков.

Уже на рис. 2а еще при постановке задачи можно было обнаружить вынужденную двухслойную дискретизацию для устранения пропусков. Следовательно, инструментарий, обеспечивающий простоту действий оператора должен включать функцию дополнительной фрагментации не охваченных частей ОМ. Причем дополнительные рамки выделения должны вплотную примыкать к рамкам, размещаемым благодаря описанным выше перемещениям, всегда на левой границе ОМ для направлений генерации последовательности север-юг и на нижней границе – для направлений генерации запад-восток. То есть программная реализация ряда таких примыкающих фрагментов, устанавливаемых по решению оператора, образует строки или столбцы дискретизации ОМ соответственно. Так, на рис. 5, изображающем более широкую ОМ в отличие от рис. 4, демонстрируется та же вертикальная генерация рамок, перемещаемых для описание левой границы ОМ, и образование строк дискретизации, формируемых в результате дополнения граничных элементов новыми рамками справа.

Характерной особенностью для каждой новой устанавливаемой рамки должно быть автоматическое определение координат ее привязки, основанное на знании привязки предшествующей рамки и известных ее размеров.

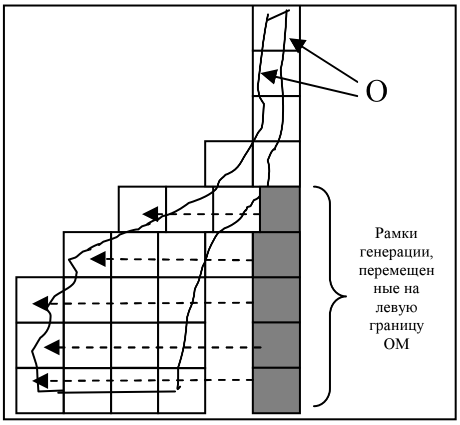


Рисунок 5 – Демонстрация перемещения рамок
для выделения левой границы ОМ и дополнения образуемых строк справа

Аналогично тому, как это должно выполняться для вытянутых ОМ, дискретизация может осуществляться и для локально сосредоточенных ОМ в пределах УМ (рис. 1в). Здесь для исходной автоматической генерации фрагментов легко использовать уже рассмотренные приемы. Перемещением выделяющих рамок вдоль строк или столбцов удается добиться требуемого описания избранной границы (левая или нижняя), а последующее формирование необходимого числа фрагментов, примыкающих к ним вплотную справа или сверху, обеспечивает полное дискретное представление локальной ОМ любого размера.

При этом следует отметить, что реализация рассмотренных возможностей построения инструментария оператора за счет начальной генерации линейной после-

довательности рамок выделения фрагментов всегда приводит к плотному без пропусков расположению строк или столбцов сетки изображений дискретизированной ОМ.

В дополнение к изложенным особенностям построения инструментария оператора можно обнаружить, что в отдельных случаях для каждой из трех разновидностей ОМ число генерируемых рамок выделения фрагментов может оказаться избыточным. Поэтому для устранения образующегося избытка в составе предлагаемого инструментария требуется предусмотреть специальную операцию удаления.

Наконец, примеры рис. 4,5 демонстрируют возможность упрощения процесса генерации линейного набора рамок. Здесь вертикальное положение этого набора обеспечило последующее перемещение его рамок до мест установки. То есть выбор наклонного положения (рис. 3) привел бы только к уменьшению расстояний соответствующих перемещений, а на отдельных участках ОМ они вообще могли бы оказаться излишними.

Выводы

Решение задачи дискретизации ОМ достигается в согласовании возможностей космической съемки со следующими предлагаемыми принципами построения систем мониторинга.

1. Зона ответственности любой системы мониторинга, основанной на информации спутникового дистанционного зондирования Земли, является территорией, подлежащей контролю и должна состоять из ряда участков мониторинга (УМ), каждый из которых охватывается многоспектральной космической съемкой за один пролет спутника.

2. Земное пространство УМ, отображаемое спутниковой съемкой, может представлять интерес для контроля состояний его объектов полностью или частично.

3. Сложность формы и границ области мониторинга (ОМ), являющейся частью УМ, для обнаружения изменений состояний объектов при сопоставлении ОМ изображений повторяющихся съемок обусловливает необходимость ее однократного дискретного описания в составе изображения первой съемки этого УМ на весь период эксплуатации системы мониторинга.

4. Дискретное описание ОМ предполагает ее разбиение на равные по площади фрагменты, каждый из которых является элементарным изображением, ориентированным по сторонам света.

Отсюда состав предлагаемых в статье соответствующих выполнению дискретизации ОМ алгоритмических действий при их программной реализации должен обеспечить:

– вооружение оператора программным инструментом для выделения исходного фрагмента дискретизации ОМ и определения направления последующего автоматического формирования линейного набора рамок последующей фрагментации;

– исключение необходимости применения оператором высокоточных действий путем запрета одной из двух степеней свободы ручного перемещения рамок выделения фрагментов в места их целесообразного размещения;

– автоматическое (программное) формирование заданного оператором линейного набора рамок выделения фрагментов, представляющих начальное приближение дискретизируемой ОМ;

– обеспечение оператора инструментом программной поддержки однонаправленных перемещений рамок линейного набора начального приближения в целесообразные положения (левая или нижняя граница ОМ), дополнения его необходимым числом вплотную примыкающих рамок, заполняющих неохваченные части дискретизируемой ОМ, и удаления неиспользованных в аппроксимации (не совпадающих с ОМ) рамок.

Список литературы

1. Белозерский Л.А. Дискретизация области наземного контроля с целью автоматизации систем детерминированного тематического спутникового мониторинга / Л.А. Белозерский, Л.В. Орешкина, Н.И. Мурашко // Искусственный интеллект. – 2013. – № 3. – С. 98-108.
2. Белозерский Л.А. Проблемы построения автоматизированных программно–информационных комплексов спутникового мониторинга локальных объектов заданных территорий / Л.А. Белозерский, Н.И. Мурашко // Материалы Четвертого Белорусского космического конгресса. 27 – 29 октября 2009 г., Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2009. – Т. 2. – С. 151-155.
3. Мурашко Н.И. Мониторинг магистральных трубопроводов по данным дистанционного зондирования Земли / Н.И. Мурашко, Л.А. Белозерский // Материалы UKRAINIAN CONFERENCE ON SPACE RESEARCH. – Yevpatoria, Ukraine, 2013. – P. 165.

References

1. Belozerskij L.A. Diskretizacija oblasti nazemnogo kontrolja s cel'ju avtomatizacii sistem determini¬ro¬vannogo tematicheskogo sputnikovogo monitoringa / L.A. Belozerskij, L.V. Oreshkina, N.I. Murashko // Iskusstvennyj intellekt. – 2013. – № 3. – S. 98-108.
2. Belozerskij L.A. Problemy postroenija avtomatizirovannyh programmno–infor¬ma¬cionnyh kompleksov sputnikovogo monitoringa lokal'nyh ob#ektov zadannyh territorij / L.A. Belo¬zerskij, N.I. Murashko // Materialy Chetvertogo Belorusskogo kosmicheskogo kongressa. 27 – 29 oktjabrja 2009 g., Minsk : OIPI NAN Belarusi, 2009. – T. 2. – C. 151-155.
3. Murashko N.I. Monitoring magistral'nyh truboprovodov po dannym distancionnogo zondiro¬vanija Zemli / N.I. Murashko, L.A. Belozerskij // Materialy UKRAINIAN CON¬FERENCE ON SPACE RESEARCH. – Yevpatoria, Ukraine, 2013. – P. 165.

RESUME

L.A. Belozersky, L.V. Areshkina, N.I. Murashko

Automation Principles Discrete Presentation of the Satellite Monitoring Field of the Earth Surface

The article focused on consideration as a way to discretize the monitoring area practically in the interests of its approximation for achieving highly detailed control of ground objects. The corresponding decisions of the task in accordance with the capabilities of satellite imagery and proposed principles of constructing of monitoring systems are shown. For this purpose, the concept of area of responsibility of the system shared by monitoring plots is described.

Monitoring sites covered by multispectral satellite imagery territory are entered for one flight span. This determines as a whole the monitoring creature based on satellite imagery ground. As a result, it is established that the monitoring area should represent part of the monitoring plot. Therefore, in carrying out the discretize process the place of the operator is specified.

Composition algorithmic actions that relieve the operator from the highly related actions are proposed. This allows operator to come to the elements of automation solutions

Статья поступила в редакцию 17.03.2014.